

**IMPULSE EROSION PLASMA ENGINE**

**Patent number:** RU2143586  
**Publication date:** 1999-12-27  
**Inventor:** ANTROPOV N N; D JAKONOV G A; KRIVONOSOV I G;  
GOMILKA L A; ORLOV M M; POPOV G A; RUDIKOV A  
I; JAKOVLEV V N  
**Applicant:** NII PRIKLADNOJ MEK I EHLEKTROD  
**Classification:**  
**- international:** *F03H1/00; H05H1/54; F03H1/00; H05H1/00; (IPC1-7):*  
*F03H1/00; H05H1/54*  
**- european:**  
**Application number:** RU19980122248 19981203  
**Priority number(s):** RU19980122248 19981203

**Report a data error here**

**Abstract of RU2143586**

**FIELD:** plasma engineering; electric rocket engines for space units. **SUBSTANCE:** engine has rail-type acceleration channel 1 whose top and bottom walls are formed by cathode 2 and anode 3 connected through resistive and inductive loads to plates of capacitor 4 and side walls, by solid-insulation grains 5 that function as active material mounted for displacement up to stop by lock 6 provided in this case on cathode 2 and rigidly fixed to cathode 2 and anode 3 to isolate their end ceramic insulator 7, as well as igniter 8 mounted in cathode 2. Ceramic insulator 7 has depression 10 on surface facing acceleration channel 1 its depth being at least 3 mm; igniter 8 is mounted in mentioned depression. **EFFECT:** improved stability of thrust characteristics due to more uniform evaporation of active material from grain surfaces. 1 cl, 3 dwg

---

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide



(19) RU<sup>(11)</sup> 2 143 586<sup>(13)</sup> C1  
(51) МПК<sup>6</sup> F 03 H 1/00, H 05 H 1/54

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО  
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

(21), (22) Заявка: 98122248/06, 03.12.1998

(24) Дата начала действия патента: 03.12.1998

(46) Дата публикации: 27.12.1999

(56) Ссылки: R. Vondra, K.Thomassen. "Performance Improvements in Solid Fuel Microthrusters", AIAA Paper N 72 - 210, 1972, фиг.1. DE 2350719 A1, 24.04.75. US 3636709 A, 25.01.72. RU 94031514 A1, 14.03.96. RU 94041583 A1, 20.09.96.

(98) Адрес для переписки:  
125871, Москва, Волоколамское ш., 4, НИИПМЗ  
МАИ

(71) Заявитель:  
НИИ прикладной механики и электродинамики  
МАИ

(72) Изобретатель: Антропов Н.Н.,  
Дьяконов Г.А., Кривоносов И.Г., Гомилка  
Л.А., Орлов М.М., Попов Г.А., Рудиков  
А.И., Яковлев В.Н.

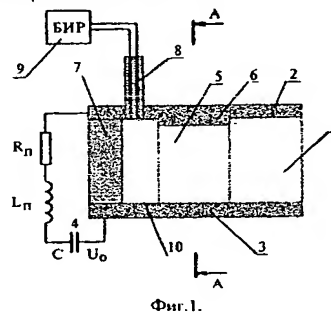
(73) Патентообладатель:  
НИИ прикладной механики и электродинамики  
МАИ

(54) ЭРОЗИОННЫЙ ИМПУЛЬСНЫЙ ПЛАЗМЕННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ

(57) Реферат:

Изобретение относится к плазменной технике и может найти применение в электроракетных двигателях космических двигательных установок. Эрозионный импульсный плазменный двигатель содержит ускорительный канал рельсового типа 1, верхняя и нижняя стенки которого образованы катодом 2 и анодом 3, соединенными через омическую и индуктивную нагрузку с обкладками конденсатора 4, а боковые стенки - шашками из твердого диэлектрика 5, являющегося рабочим веществом, установленным с возможностью перемещения до упора в фиксатор 6, выполненный в данном случае на катоде 2, жестко соединенный с катодом 2 и анодом 3, разделяющий их торцевой керамический изолятор 7 и установленный в катоде 2 игнейтер 8. В торцевом керамическом изоляторе 7 со стороны поверхности, обращенной в ускорительный канал 1, выполнено углубление 10, глубина которого

не менее 3 мм, при этом игнейтер 8 размещен в указанном углублении. Изобретение позволяет повысить стабильность тяговых характеристик за счет повышения равномерности испарения рабочего вещества с поверхности шашек 3 ил.



Фиг.1.

RU 2 143 586 C1

RU 2 143 586 C1



(19) RU (11) 2 143 586 (13) C1  
(51) Int. Cl.<sup>6</sup> F 03 H 1/00, H 05 H 1/54

RUSSIAN AGENCY  
FOR PATENTS AND TRADEMARKS

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21), (22) Application: 98122248/06, 03.12.1998

(24) Effective date for property rights: 03.12.1998

(46) Date of publication: 27.12.1999

(98) Mail address:  
125871, Moskva, Volokolamskoe sh., 4,  
NIIPMEh MAI

(71) Applicant:  
NII prikladnoj mekhaniki i ehlektrodinamiki MAI

(72) Inventor: Antropov N.N.,  
D'jakonov G.A., Krivonosov I.G., Gomiika  
L.A., Orlov M.M., Popov G.A., Rudikov  
A.I., Jakovlev V.N.

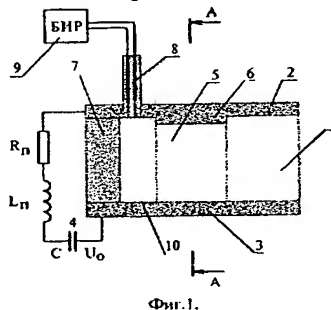
(73) Proprietor:  
NII prikladnoj mekhaniki i ehlektrodinamiki MAI

(54) IMPULSE EROSION PLASMA ENGINE

(57) Abstract:

FIELD: plasma engineering; electric rocket engines for space units. SUBSTANCE: engine has rail-type acceleration channel 1 whose top and bottom walls are formed by cathode 2 and anode 3 connected through resistive and inductive loads to plates of capacitor 4 and side walls, by solid-insulation grains 5 that function as active material mounted for displacement up to stop by lock 6 provided in this case on cathode 2 and rigidly fixed to cathode 2 and anode 3 to isolate their end ceramic insulator 7, as well as igniter 8 mounted in cathode 2. Ceramic insulator 7 has depression 10 on surface facing acceleration channel 1 its depth being at least 3 mm; igniter 8 is mounted in mentioned depression. EFFECT: improved stability of

thrust characteristics due to more uniform evaporation of active material from grain surfaces. 1 cl, 3 dwg



RU 2 143 586 C1

RU 2 143 586 C1

Изобретение относится к области плазменной техники и может найти применение в электроракетных двигателях космических двигательных установок (КДУ).

Плазменными ускорителями называют системы, в которых с помощью электрических разрядов происходит образование плазмы (ионизированного газа) и ее последующее ускорение под действием газодинамических и электромагнитных сил.

Необходимым признаком срабатывания импульсного ускорителя плазмы является пробой межэлектродного промежутка. Импульсные плазменные ускорители (ИПУ) могут применяться как эффективные тяговые исполнительные органы систем управления космических летательных аппаратов в виде импульсных плазменных двигателей (ИПД), а так же в качестве ускорителей низкотемпературной плазмы, инжекторов.

Поиск устройств такого рода, показал, что в направлении практической реализации ИПД с большим ресурсом сделано еще недостаточно, в том числе и в области новых технических задач, поставленных в современных условиях эксплуатации космических летательных аппаратов.

Известен импульсный плазменный ускоритель, который может быть использован как в качестве эрозионного импульсного плазменного двигателя (ИПД) для решения задач, требующих малых суммарных импульсов тяги, так и в качестве импульсного плазменного инжектора, например, для активных воздействий на ионосферу. (V. Leviov, V. Savitchev "Power Propulsion Sets With Pulsed Plasma Thrusters", IEPC-95-119, Moscow, 1995).

Ускоритель содержит разрядный канал с коаксиальными электродами и расположенное между ними твердое диэлектрическое рабочее вещество, например, фторопласт. Основным недостатком данного ускорителя является неустойчивость характеристик, обусловленная постепенным увеличением объема разрядного канала по мере выработки рабочего вещества, что приводит к уменьшению единичного импульса тяги.

Известен импульсный плазменный двигатель (инжектор) (СССР, а. с. N 1101164, МКИ<sup>5</sup> H 05 N 1/54), содержащий разрядный канал, систему иницирования разряда, электроды, многоканальные инжекторы, профилированные электроды. Рабочим телом, используемым в данном двигателе, является газ.

Известен эрозионный импульсный плазменный двигатель с плоскими электродами и твердым диэлектрическим рабочим веществом (фторопласт), подаваемым в разрядный канал с торца до упора в фиксатор, расположенный на одном из электродов. (R. Vondra, K. Thomassen "Performance Improvements in Solid Fuel Microthrusters", AIAA Paper N 72-210, 1972).

Недостатками данного ИПД являются малый единичный импульс тяги, вырабатываемый за один разряд накопителя, и неравномерность выработки шашки рабочего вещества (фторопласта) при большом ресурсе работы (более  $10^5$  срабатываний) двигателя.

Наиболее близким техническим решением является известный импульсный плазменный

двигатель, содержащий ускорительный канал рельсового типа, верхняя и нижняя стенки которого образованы анодом и катодом, соединенными с обкладками конденсатора, а боковые стенки - твердым рабочим веществом (фторопластом) в виде шашек, установленных с возможностью перемещения до упора, выполненного в катоде, жестко соединенный с катодом и анодом разделяющий их торцевой керамический изолятор и установленный в катоде игнайтер (V. Vondra, K. Y. Thomassen "Performance Improvements in Solid Fuel Microthrusters" AIAA Paper N 72-210, 1972).

В известном ИПД, также как и в предлагаемом техническом решении, осуществляется боковая подача рабочего тела в разрядный канал. При этом в известном ИПД после  $>10^4$  разрядов конденсаторной батареи на значительной части поверхностей шашек рабочего вещества появляется пленка, состоящая из продуктов распада фторопласта (углерода). Теплота испарения углерода существенно выше, чем фторопласта, что приводит к уменьшению площади поверхности, с которой происходит испарение рабочего вещества, снижению его расхода, падению тяги двигателя, что может сделать невозможным выполнение в полном объеме поставленной задачи по управлению положением космического аппарата на орбите. Более того, появление существенной неравномерности выработки шашек рабочего вещества, являющейся следствием осаждения продуктов распада, может сделать невозможным дальнейшую их подачу в разрядный канал и повлечет за собой выход из строя двигателя.

При разработке импульсного плазменного двигателя системы управления положением спутника Земли необходимо решить ряд задач, связанных с обеспечением заданных характеристик ИПД, прежде всего его ресурса. К таким задачам относятся:

- обеспечение равномерной и контролируемой эрозии "шашек" плазмообразующего вещества;
- обеспечение стабильности характеристик ИПД в течение времени активного существования спутника;
- обеспечение равномерной подачи "шашек" в разрядный канал.

Задача настоящего изобретения заключается в создании эрозионного импульсного плазменного двигателя, в котором обеспечивается стабилизация тяговых характеристик ИПД путем повышения равномерности во времени испарения рабочего вещества с поверхностей шашек за счет полного устранения осаждения продуктов распада рабочего вещества.

Поставленная задача решается тем, что в эрозионном импульсном плазменном двигателе, содержащем ускорительный канал рельсового типа, верхняя и нижняя стенки которого образованы катодом и анодом, а боковые стенки - шашками из твердого диэлектрика, установленными с возможностью перемещения до упора в фиксатор, выполненный на одном из электродов, жестко соединенный с катодом и анодом, разделяющий их торцевой керамический изолятор и установленный в одном из электродов игнайтер, в торцевом

керамическом изоляторе со стороны поверхности, обращенной в ускорительный канал, выполнено углубление, глубина которого не менее 3 мм, при этом игнайтер размещен в указанном углублении.

Серьезной проблемой эрозионных ИГД, оказывающей существенное влияние на эффективность и работоспособность двигателя, является необходимость согласования во времени и пространстве двух процессов:

- распределение разрядного тока в рабочем канале;
- распределение массы рабочего вещества, его ионизации и ускорения.

Чем полнее такое совмещение, тем лучше организован рабочий процесс двигателя, поскольку при этом имеет место эффективное ускорение силой  $j \times B$  значительной части рабочего вещества. Однако, в реальной конструкции добиться полного совмещения указанных выше процессов невозможно из-за ограничений, накладываемых внешней электрической цепью. Вследствие довольно больших значений индуктивности внешней цепи, лежащих в хорошо спроектированных ИГД в пределах (20-40) нГн, разрядный ток в своем движении по электродам опережает рабочее вещество, что и приводит к появлению выше описанных явлений.

Выполнение углубления в торцевом керамическом изоляторе со стороны рабочей поверхности, обращенной в ускорительный канал, и размещение игнайтера в углублении позволяют обеспечить формирование устойчивого плазменного шнура уже на входе в часть канала, образованную испаряемыми стенками, что препятствует осаждению в этой зоне углеродной пленки, возникновению значительной неравномерности выработки рабочих поверхностей шашек и обеспечивает стабильность характеристик ИГД.

Минимальная глубина углубления выбирается из следующих соображений. Известно, что наиболее интенсивный процесс испарения и ионизации диэлектрического рабочего вещества в эрозионном ИГД происходит под действием тока уже на входе в часть канала, образованную испаряемыми стенками, что препятствует осаждению в этой зоне углеродной пленки, возникновению значительной неравномерности выработки рабочих поверхностей шашек и обеспечивает стабильность характеристик ИГД.

Токовая перемычка перемещается по электродам ИГД с высокой скоростью (порядка  $\approx 10^6$  м/с) слабо зависящей от параметров электрической цепи. В то же время длительность импульса разрядного тока во многом определяется индуктивностью внешней электрической цепи. При правильно спроектированной электрической цепи эрозионного ИГД, когда соотношение погонной индуктивности разрядного канала  $L_1$  и индуктивности  $L_0$  внешней цепи  $L_1/L_0 > 1$ , время движения токовой перемычки по электродам и длительность импульса тока оказываются близки друг к другу. В этом случае углубление может иметь минимальную глубину. Экспериментально установлено, что для своевременного (до выхода в рабочую область канала) формирования токовой перемычки (плазменного шнура), углубление в торцевом изоляторе должен быть не менее 3 мм. Выполнение такого углубления позволяет решить поставленную задачу - обеспечить стабильность тяговых характеристик ИГД.

Заявителю неизвестны эрозионные импульсные плазменные двигатели с заявленной совокупностью признаков, что подтверждает соответствие изобретения критерию "новизна". Заявленная совокупность существенных признаков не вытекает явным образом из современного уровня техники, и, следовательно, изобретение соответствует критерию "изобретательский уровень".

На фиг. 1 показана конструктивная схема импульсного плазменного двигателя эрозионного типа; на фиг. 2 - показан продольный разрез импульсного плазменного двигателя эрозионного типа по линии А-А фиг. 1; на фиг. 3 показан разрез по линии В-В, вид сверху.

Эрозионный импульсный плазменный двигатель содержит ускорительный канал 1 рельсового типа, верхняя и нижняя стенки которого образованы катодом 2 и анодом 3, соединенными через омическо-индуктивную нагрузку с конденсаторной батареей 4 посредством тонких медных шин, разделенных изолятором, а боковые стенки ускорительного канала 1 шашками из твердого диэлектрика 5 установленными с возможностью перемещения в специальных направляющих под действием, например, пружины кручения до упора в фиксатор 6, выполненный в данном случае на катоде 2, путем накладки тонкой металлической пластины симметрично средней линии катода, торцевой керамический изолятор 7, изготавливаемый из материалов с высокой рабочей температурой (например, нитрид бора) разделяющий электроды 2, 3 и жестко с ними соединенный винтами с потайными головками. Поверхности шашек 5, обращенные к торцевому изолятору 7, плотно прилегают к его поверхностям, сprofilированным соответствующим образом. Игнайтер 8, соединенный с блоком иницирования разряда 8 (БИР), установлен в отверстии в катоде 2 и закреплен с помощью специального клея.

В торцевом керамическом изоляторе 7, со стороны обращенной в ускорительный канал 1, выполнено углубление 10, глубиной не менее 3 мм. Игнайтер 8 размещен в углублении 10.

Эрозионный импульсный плазменный двигатель работает следующим образом. Из блока иницирования разряда 9 подается короткий высоковольтный импульс на электроды игнайтера 8. В результате поверхностного пробоя между электродами игнайтера образуется плазменный сгусток, закорачивающий электроды 2, 3 основного разряда в углублении, где формируется разряд дугового типа, распространяющийся затем в ускорительный канал 1 с аблирующими боковыми стенками. Рабочее вещество, поступающее в разряд с поверхностей шашек 5, переходит в плазменное состояние и ускоряется магнитным и газодинамическим давлением, создавая реактивную тягу. Наличие углубления 10 и расположение в зоне задней поверхности игнайтера 8 обеспечивают формирование устойчивого плазменного шнура в начальной части ускорительного канала с испаряемыми стенками и препятствует осаждению в этой зоне углеродной пленки или значительной неравномерности выработки рабочей

RU 2143586 C1

поверхности шашек 5. По мере выработки шашек 5 они подаются толкателями до упора в фиксатор 6, выполненный, например, на электроде (катоде) 2.

Возможность реализации эрозионного импульсного плазменного двигателя по данному изобретению подтверждена изготовлением лабораторной модели эрозионного ИПД по предлагаемой схеме, экспериментальная отработка которой продемонстрировала полное отсутствие углеродной пленки на рабочих поверхностях шашек.

Таким образом, предложенный эрозионный импульсный плазменный двигатель обладает высокой стабильностью тяговых характеристик за счет повышения равномерности испарения рабочего вещества с поверхностей шашек вследствие полного устранения осаждения углерода, являющегося продуктом разложения рабочего вещества, на указанных поверхностях, что повышает надежность работы ИПД. Это обеспечивается выполнением углубления в

торцевом керамическом изоляторе со стороны рабочей поверхности, обращенной в ускорительный канал глубиной не менее 3 мм, а также размещением игнайтера в указанном углублении.

#### Формула изобретения:

Эрозионный импульсный плазменный двигатель, содержащий ускорительный канал рельсового типа, верхняя и нижняя стенки которого образованы катодом и анодом, а боковые стенки - шашками из твердого диэлектрика, установленными с возможностью перемещения до упора в фиксатор, выполненный на одном из электродов, жестко соединенный с катодом и анодом, разделяющий их торцевой керамический изолятор и установленный в одном из электродов игнайтер, отличающийся тем, что в торцевом керамическом изоляторе со стороны поверхности, обращенной в ускорительный канал, выполнено углубление, глубина которого не менее 3 мм, при этом игнайтер размещен в указанном углублении.

RU 2143586 C1

RU 2143586 C1

5

10

15

20

25

30

35

40

45

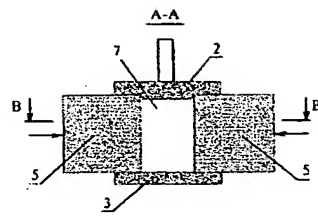
50

55

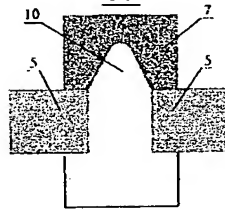
60

-5-

RU 2143586 C1



Фиг.2.  
B-B



Фиг.3.

RU 2143586 C1